



### **Science Arts & Métiers (SAM)**

is an open access repository that collects the work of Arts et Métiers Institute of Technology researchers and makes it freely available over the web where possible.

This is an author-deposited version published in: <https://sam.ensam.eu>  
Handle ID: <http://hdl.handle.net/10985/7492>

#### **To cite this version :**

Hamid AKNOUCHE, Corinne NOUVEAU, Yacine BENLATRECHE, Christophe ROUSSELOT, David PILLOUD, Abdellatif ZERIZER, Rémy MARCHAL - Test d'usure d'outils modifiés ou non lors du déroulage de MDF - In: 7ème Ecole des Sciences et Technologies du Bois, Morocco, 2010-04 - ESTB VII - 2010

Any correspondence concerning this service should be sent to the repository

Administrator : [scienceouverte@ensam.eu](mailto:scienceouverte@ensam.eu)



## Test d'usure des outils de coupe modifiés ou non lors du déroulage de MDF

H. Aknouche<sup>a</sup>, C. Nouveau<sup>b</sup>, Y. Benlatreche<sup>b</sup>, C. Rousselot<sup>c</sup>, D. Pilloud<sup>c</sup>, A. Zerizer<sup>a</sup>, R. Marchal<sup>b</sup>

<sup>a</sup> LMMC Université M'Hamed Bougarra, rue de la liberté Boumerdes  
3500 Algérie, [h.aknouche@yahoo.fr](mailto:h.aknouche@yahoo.fr) ou [h\\_aknouche@umbb.dz](mailto:h_aknouche@umbb.dz)

<sup>b</sup> LaBoMaP ENSAM, Rue Porte de Paris, F-71250, Cluny, France,

<sup>c</sup> Institut FEMTO-ST, UMR 6174, 4 Place Tharradin, BP 71427, 25211  
Montbéliard cedex, France

---

### Résumé

Des revêtements à base de nitrure de chrome réalisés par pulvérisation triode ont été testés en déroulage et défonçage du bois. L'efficacité des revêtements triode a été montrée en usinage de MDF (Medium Density Fiberboard), donc dans des conditions sévères de coupe, ainsi qu'en défonçage d'OSB (Oriented Strand Board) où un revêtement CrN de 1 µm d'épaisseur permet d'usiner 9 fois plus qu'un outil non revêtu [1].

Le but de cette étude est d'examiner comment on peut améliorer la tenue à l'usure des outils de coupe dans l'opération de déroulage du MDF, en traitant la partie active de l'outil. Les modifications des surfaces actives des couteaux consistent à appliquer des films durs (CrAlN, CrSiN), qui ont déjà donné des résultats prometteurs dans l'opération de défonçage du MDF [2], l'un des facteurs limitant dont il faut nous affranchir est l'adhérence des couches déposées sur les outils de coupe. C'est pourquoi nous avons testé des traitements duplex (nitruration ionique+dépôt magnétron). Ces revêtements ont également été testés en simulant les chocs que peuvent générer les nœuds dans un billon.

Les revêtements de CrAlN ont été réalisés par PVD sur un bâti dual magnétron RF alors que les couches de CrSiN ont été obtenues par l'institut FEMTO/ST de Besançon dans le cadre d'un projet de recherche. La nitruration ionique a été réalisée dans un four de traitement thermochimique BMI. Le processus d'usinage a été effectué sur une microdérouleuse instrumentée, le matériau utilisé étant du MDF (Medium Density Fiberboard).

**MOTS-CLES:** Déroulage, Usure, Magnétron, Nitruration, MDF.

---

### 1. Introduction

Un des problèmes de major l'industrie du bois est la survenue d'entailles à la fine pointe principalement due à l'impact des nœuds, ou des corps étrangers que le bois vert peut contenir. Ce phénomène est accentué par l'angle de bec des outils de déroulage qui ne dépasse pas les 22°. Dans le processus de déroulage, deux situations peuvent se produire: la première, lorsque les dimensions des entailles ne dépassant pas 200 µm, l'opérateur doit intervenir afin de faire poncer la zone endommagée, dans ce cas, aucun arrêt de la production n'est obligatoire. La deuxième, si le bord est totalement rompu, un changement d'outils est nécessaire. Ces arrêts répétés induisent des pertes économiques et des conditions de travail difficiles pour les opérateurs. Des études antérieures ont montré l'efficacité des revêtements de surface tels que les couches dures obtenues par les méthodes PVD (TiN, CrN, etc) ou aux traitements de surface tels que la nitruration et traitements duplex contre l'usure en usinage du bois et en particulier dans le processus de déroulage [3,4].

L'angle bas du bec de l'outil coupe (19-22°) est le principal problème et est responsable de l'usure importante par abrasion de l'outil au cours de l'usinage.

Cependant, les applications des revêtements durs en films minces sont limitées par leur faible adhérence sur la majorité des substrats. En effet, de nombreuses études ont révélé qu'au-delà de 200 nm d'épaisseur, le film se délamine automatiquement de son substrat [5]. Des travaux ont été menés afin d'améliorer son adhérence par le chauffage du substrat [5, 6] ou par la réalisation de sous-couches entre le substrat et le film [7, 8].

Suite a toutes ces contraintes, notre étude se baseras sur l'application des revêtements à base de nitrure de chrome, un ajout d'Al à 5% est testé ces derniers films ont donnés des résultats appréciables dans le défonçage du MDF. Afin de nous affranchir de la contrainte d'adhérence, un traitement de nitruration a été initié.

## **2. Matériel et méthode**

### **2.1. Outil de coupe**

Les outils coupants ont été réalise a partir d'un acier 90CrMoV8, très utilisé dans le déroulage du bois. Avant les dépôts, un polissage au papier abrasif (SiC, Ø 800) a permis de leur conférer une rugosité de surface de ( $R_a = 0.5$  à  $0.9$ )  $\mu\text{m}$ . Avant le dépôt les outils on été nettoyés chimiquement selon la séquence suivante :

- Trichloréthylène (à 99,5%) pendant 5 minutes dans un bac à ultrasons,
- Acétone pure (99,5%) pendant 5 minutes dans un bac à ultrasons,
- Ethanol (99,5%) pendant 5 minutes dans un bac à ultrasons.

A la fin de chaque étape, les substrats sont rincés à l'eau désionisée et stockés dans des piluliers contenant de l'éthanol absolu jusqu'à leur utilisation.

Un deuxième nettoyage in situ a été réalisé par un bombardement des ions d'argon pendant 5mn pour enlever les couches d'oxydes formées après le chargement des substrats dans l'enceinte de dépôt.

### **2.2. Traitement de nitruration**

Les traitements de nitruration et pré-nitruration ont été effectués dans un four BMI B83 TIC qui est un four sous vide horizontal, à double paroi refroidie par circulation d'eau. Il constitue une installation autonome, à cycles de traitement automatique (Figure 1).

L'automate est supervisé par un micro-ordinateur équipé d'un logiciel (GRAPHTIL) qui permet la programmation des cycles de traitement, le dialogue avec l'automate et la restitution de toutes les grandeurs physiques en fin de traitement pour l'analyse du déroulement du cycle.

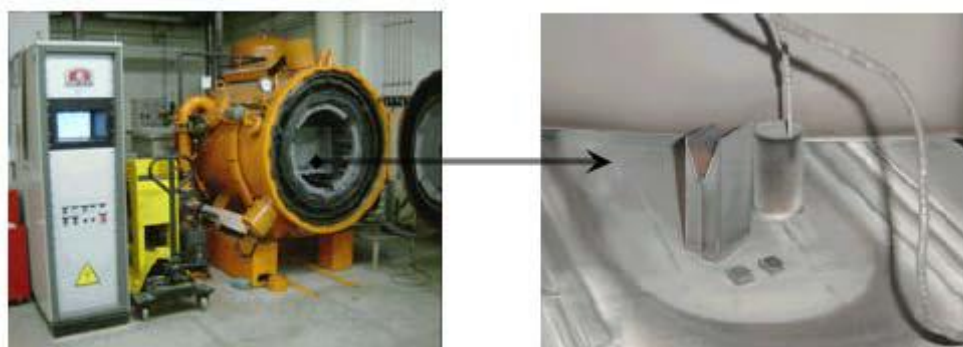


Figure 1: Four BMI B83 TIC

Pour cette étude, plusieurs traitements de nitruration ont été réalisés. Les paramètres de nitruration (enchaînement des séquences, débits des gaz...) ont été déterminés en se basant sur une étude précédente effectuée sur l'acier 90CrMoV8 [2]. Un certain nombre de paramètres ont été fixés selon cette étude ; il s'agit de la pression totale des gaz en séquence de nitruration (3mbar), du débit du gaz nitrurant ( $6,7$  l/min), de l'intensité du plasma et des conditions de refroidissement (1 bar d'azote). Les seuls changements sont intervenus sur la température de nitruration, le temps total du traitement et la composition du mélange gazeux utilisé pendant la séquence de nitruration.

### **2.3. Revêtements CrAlN**

Les couches de CrN et CrAlN ont été synthétisées par un magnétron RF double postillonner avec une cible Cr et une autre d'Al pure (figure2). Les paramètres de dépôts sont donnés au tableau (1). Les dépôts sont réalisés seulement sur la face de coupe suivant le constat de Nouveau et al [1].



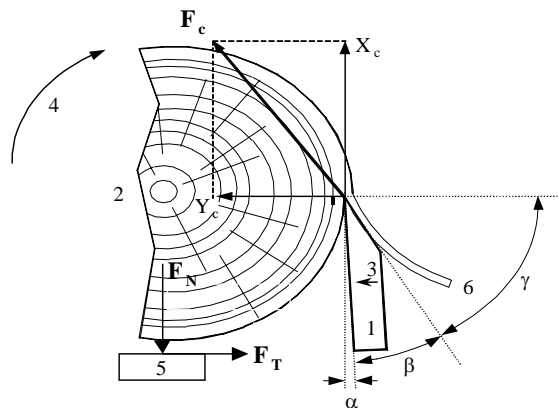
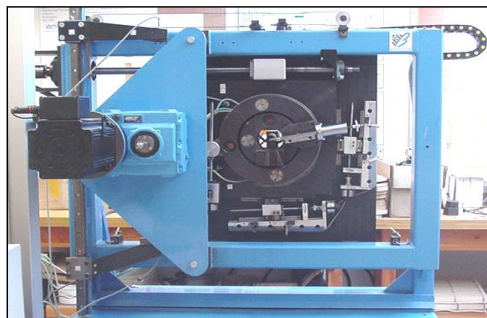
Figure 2: Bâtiment de pulvérisation magnétron

Tableau1 : Paramètres de dépôts

Dépôt	Pression de travail ( $\mu\text{bar}$ )	Tension appliquée à la cible de Cr (-V)	Tension appliquée à la cible d'Al (-V)	Temps de dépôt (mn)
CrN	4	900	0	90
CrAlN			300	

#### 2.4. Processus de déroulage

Le micro déroulage est réalisé grâce à une micro dérouleuse instrumentée (figure 3) de l'ENSAM de Cluny, qui permet de faire des simulations de déroulage en utilisant des rondelles de bois (Medium Fiberboard Density) et des couteaux de faibles dimensions. Cette machine nous permet de mesurer les efforts de coupe ( $X_c$ ,  $Y_c$ ) et par conséquent la résultante  $F_c$ , ainsi que les coefficients de frottements. Les conditions de coupe sont données dans le tableau (2).



1-couteau, 2-rondelle, 3-mouvement couteau, 4-rotation rondelle, 5-patin de frottement, 6-placage  
 $F_N$ -force normale,  $F_T$ -force de frottement,  $F_c$ -force appliquée par le couteau  
 $\alpha$ -angle de dépouille,  $\beta$ -angle de bec,  $\gamma$ - angle d'attaque

Figure 3 : Microderouleuse instrumentée et procédé de déroulage

Tableau.2 : Conditions de coupe

	Vitesse linéaire (m/s)	Epaisseur du copeau ( $1/10^{\text{ème}}$ mm)	Angle de dépouille ( $^{\circ}$ )
MDF	0.5	6	3

## 2.5. Mesure de l'usure

En déroulage, le recul d'arête est représentatif de l'usure de l'outil car il traduit une usure globale ayant aussi pour conséquence la modification significative de la cote verticale dans le cas du déroulage avec barre de pression. Cette méthode de quantification de l'usure de l'arête d'un outil tranchant est communément utilisée en usinage bois [9 - 11] (figure 4).

L'observation de l'usure est réalisée à l'aide d'un microscope optique OLYMPUS Vanox- AH2 permettant des grossissements de 20 à 1500 fois. Un capteur numérique monté sur ce microscope permet de visualiser l'usure en parallèle sur un ordinateur. La mesure de l'usure de la lame s'effectue par ordinateur grâce à un logiciel d'acquisition « ANALYSIS » avec une précision de 0,5 mm et pour un grossissement de 590 fois, ce qui donne une erreur de mesure de l'ordre du micron.

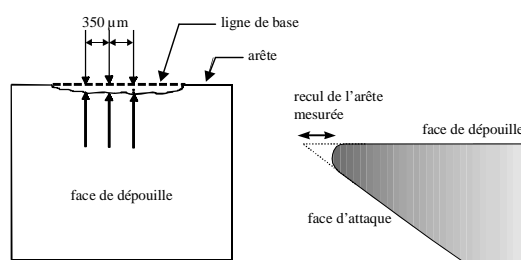


Figure 4 : Mesure du recul de l'arête d'un couteau de déroulage

## 3. Résultats et discussions

### 3.1. Analyse DRX des échantillons nitrurés

Des analyses par DRX de l'acier avec et sans nitruration ont été réalisées avec une anticathode de Co de longueur d'onde  $\lambda = 1.54056 \text{ \AA}$  (figure 5). Les échantillons ont été choisis pour représenter les phases typiques formées après le traitement de nitruration lors de la variation du temps de traitement. Les observations révèlent que les pics de Fe s'élargissent et sont translatés vers des angles plus faibles lorsque le temps de traitement augmente. Cela suppose que l'azote introduit dans la solution solide induit des contraintes. Par ailleurs, comme prévu, le temps de nitruration augmente la formation des nitrures de type  $\epsilon$  et  $\gamma'$ .

Avec l'augmentation du temps de traitement la phase  $\epsilon$  devient prédominante, ce qui donnera des phases plus résistantes à l'usure et aussi à la corrosion, c'est au juste cet outil nitruré qui sera testé à l'usure.

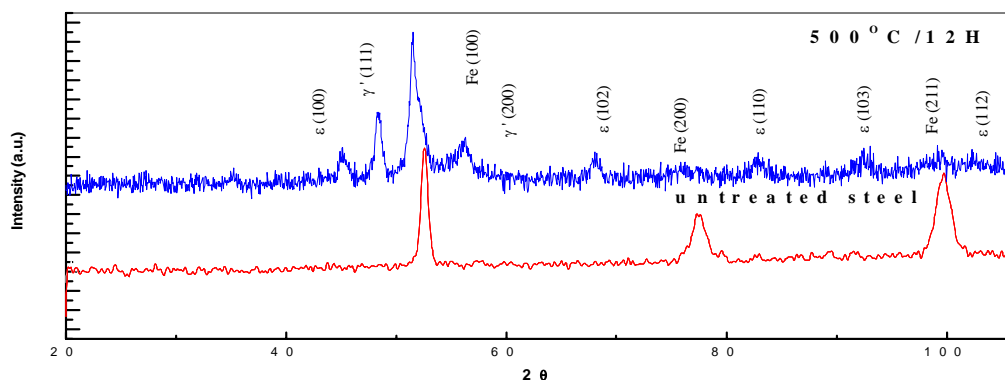


Figure 5 : Diffractogrammes de l'acier 90CrMoV8 à 500°C pendant 12 h

### 3.2. Analyse par SEM des phases de CrAlN à (5 %) et CrN

L'observation de la morphologie des couches a été réalisée grâce au MEB sur substrat de silicium. La figure. 6, montre clairement que la structure du film CrN est dense et amorphe. En ajoutant de l'Al, les films ont une

structure dense et colonnaire elle n'est pas très visible à 5% d'Al, mais avec l'augmentation du pourcentage d'Al la structure colonnaire est plus visible.



Figure 6 : Morphologie des films de CrN et CrAlN à (5%) d'Al

### 3.3. Analyse des résultats de déroulage

#### - Analyse de l'usure

La figure 7, montre le comportement à l'usure des différents outils traités ou non et testés en usinage de MDF; on remarque clairement que le comportement des outils diffère en fonction du type de traitement. On remarque clairement que l'outil revêtu de CrSiN possède la plus faible usure. On remarque aussi que l'outil nitruré s'use plus rapidement que les autres outils, cela est dû probablement à la fragilité du bec de l'outil due à sa grande dureté superficielle, résultats déjà constatés par Labidi [12]. Le fait marquant est que les outils ayant subi un traitement duplex (nituration + CrAlN) ou simplement revêtus de CrN ont un comportement similaire à l'outil nu; bien que d'autres études [1,13 ,14] ont montré l'amélioration du comportement à l'usure apportée par les revêtements de CrN et Cr2N, réalisés toutefois dans d'autres conditions. Cette différence de résultats peut s'expliquer par la qualité d'élaboration des couches ou les erreurs de mesure de l'usure. Il serait intéressant de faire des essais en milieu industriel afin d'avoir des résultats concrets permettant de classer les traitements développés ici.

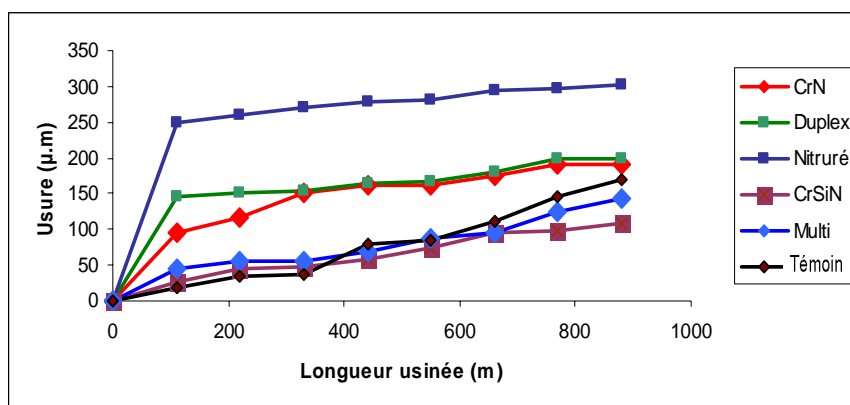


Figure 7 : Recul de l'arête en fonction de la longueur usinée lors du micro déroulage de MDF.

#### - Analyse des efforts de coupe

La figure 8, montre l'évolution des efforts de coupe en fonction de la longueur usinée, on remarque une différence de comportement entre les différents outils testés. On note une corrélation directe entre le comportement à l'usure des outils ainsi que la valeur des efforts de coupe, à titre d'exemple on peut citer le comportement à l'usure du revêtement de CrSiN qui possède la plus faible valeur d'usure ainsi que le plus faible effort de coupe. Ce résultat a été déjà constaté par les travaux de Decès-Petit [15] et Labidi [12]. Le comportement des efforts lors du déroulage est aussi conditionné par la variation des épaisseurs du copeau ainsi que par la variation des surfaces de contact entre l'outil et le billon [15]; ces deux paramètres n'ont pas été pris en considération dans cette étude. On remarque aussi que l'effort de l'outil nitruré est



important au début de l'usinage, cela est dû à la grande vitesse d'usure constatée dès les premiers mètres d'usinage.

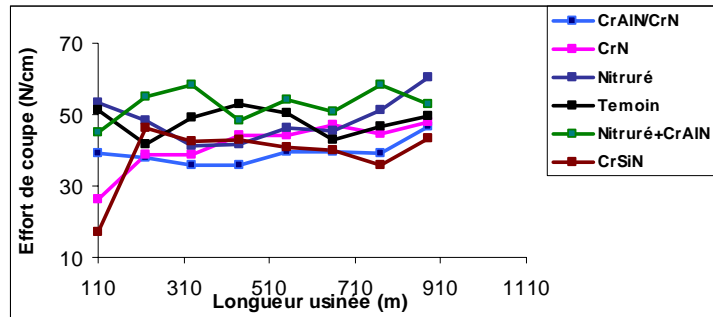


Figure 8 : Effort de coupe sommaire en fonction de la longueur usinée

#### - Test de qualité des surfaces usinées

La qualité des surfaces usinées est très importante, car toute surface usinée est destinée à recevoir soit des vernis soit des surfaces en contact, il est donc important de déterminer la qualité des surfaces déroulées. Dans des précédentes études, Aknouche *et al.* [16] a montré que le type de revêtement n'influait aucunement la qualité des surfaces usinées. Dans le cadre de mes travaux de recherche, j'ai effectué des tests de qualité de surface en fonction de l'usure des outils, en retenant comme facteur déterminant, la rugosité des surfaces usinées.

Le suivi de cette rugosité a été fait par profilométrie optique de marque Wayko. Des mesures ont été prises après chaque 110 m de MDF déroulé sur des copeaux de 2cm<sup>2</sup>.

La figure 10, montre un exemple d'acquisition par profilométrie optique d'une surface usinée après 110 m de déroulage avec un outil de coupe revêtu de CrN.

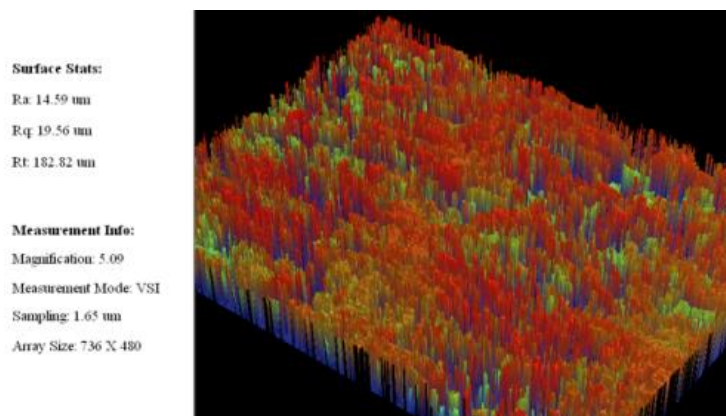


Figure 9: Exemple de relevé topographique d'une surface usinée par un outil revêtu de CrN après 110 m d'usinage

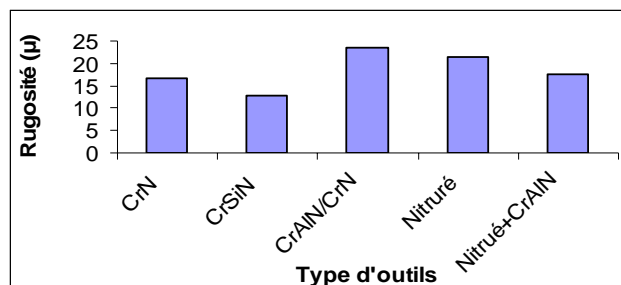


Figure 10 : Rugosité moyenne des copeaux déroulés

On constate à travers la figure 9 que l'outil revêtu de CrSiN permet d'obtenir de meilleurs états de surfaces que les autres outils traités. On remarque que la valeur de l'usure en elle-même n'est pas un facteur qui pourra être déterminant sur la valeur moyenne de la rugosité dans le processus de déroulage; mais surtout les ondulations générées. Cela se confirme par la valeur moyenne de la rugosité de l'outil revêtu de CrN/CrAlN, malgré son usure faible il ne génère pas des surfaces de bonnes qualités en prenant comme indice de qualité la rugosité. On peut dire que la qualité des surfaces déroulées dépend de l'usure mais aussi du profil de dégradation de l'arête, constaté lors de l'analyse sur profilometre optique de l'arête de coupe de l'outil revêtu CrN/CrAlN.

#### - Test de chocs

Lors de l'opération de déroulage, les outils subissent des dégradations dues aux nœuds. Ces derniers ont des densités supérieures aux autres parties d'un billon, aussi la position du nœud qui peut être en travers de la fibre, pourra faire subir aux outils d'énormes dégradations. Il est intéressant de voir le comportement de nos outils face aux chocs que pourraient causer des nœuds. Pour cela des simulations ont été réalisées. On a placé sur des disques de MDF des tourillons en hêtre de 8 mm de diamètre, ces derniers sont au nombre de 4 avec un pas de 90°, le sens des fibres des tourillons est perpendiculaire à l'arête de coupe augmentant ainsi la dureté locale de contact simulant l'orientation des fibres d'un nœud. La distance déroulée est de 50m.

Le test de choc a été réalisé comme suit : des photos par microscope optique ont été prises sur l'arête de l'outil avant et après déroulage résumées dans la figure 10, afin de simuler les nœuds qui engendreront les chocs, une acquisition d'efforts est faite pour déterminer l'influence de la nodosité sur l'opération de déroulage. La figure 11, montre la position des tiges sur le disque de MDF.

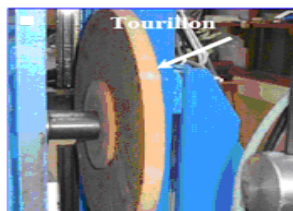


Figure 11 : Mise en place de la pièce pendant l'essai de chocs.

Outil CrN





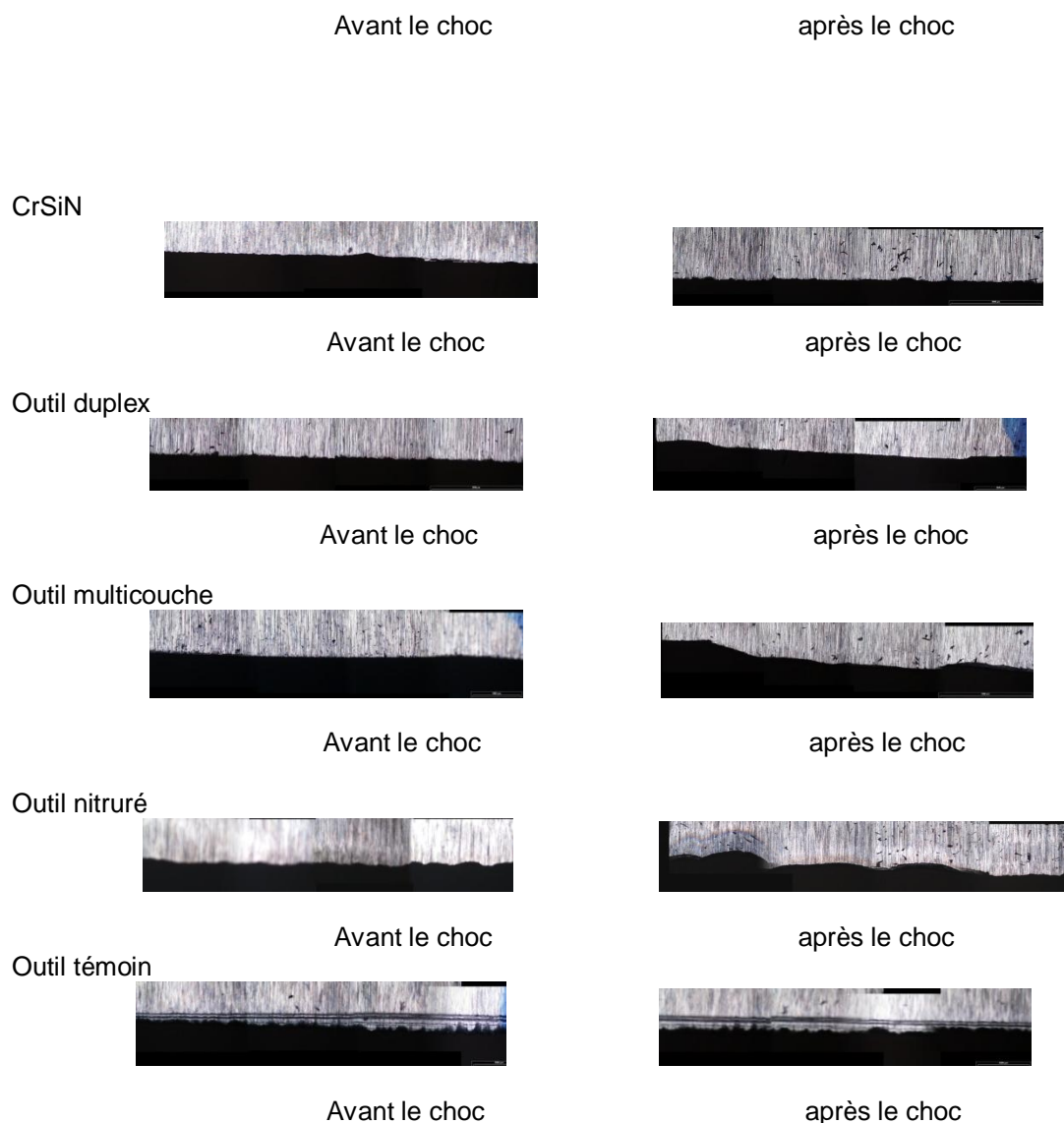


Figure 12 : Micrographies des outils de coupe avant et après le choc

Il apparaît clairement que les chocs influent négativement sur l'arête de l'outil, or on remarque les traces des chocs qui se traduisent par une dégradation de la partie active de l'outil. Néanmoins cette dégradation diffère d'un outil à l'autre.

Ces micrographies nous permettent d'apprécier la différence de comportement des outils lors du choc. En industrie les chocs sont causés par les nœuds ainsi que par les corps étrangers qui peuvent s'incruster à l'intérieur d'un tronc d'arbre. On peut clairement conclure que l'outil revêtu de CrSiN et à un degré moindre celui revêtu de CrN présentent une faible dégradation alors que l'outil nitruré a subi la dégradation la plus importante.

### Conclusions

Suite aux essais de déroulage des différents outils, on peut dire que l'outil revêtu de CrSiN présente les meilleures performances en termes de résistance à l'usure par abrasion et aux chocs. Les tests de qualités ont aussi confirmé ce résultat. Pour les outils en CrAlN on remarque que le pourcentage d'aluminium n'améliore pas la tenue à l'usure. Une autre remarque est à noter, il existe une corrélation directe entre les efforts de coupe et l'usure. Mais ces tests restent incomplets tant qu'une application à l'échelle industrielle ne sera pas faite pour les vérifier tous ces résultats de laboratoire.

**Références:**

- [1] C. Nouveau, Application des revêtements durs ( $\text{Cr}_Y \text{N}_Y$ ) obtenus par P.V.D à l'usinage du bois. Mécanique et industries. N°3 (2002) 333- 342.
- [2] H. Aknouche, Etude de l'usure des outils de coupe traités dans le domaine de l'usinage du bois. Thèse de doctorat. Université de Boumerdes. Algérie 2009.
- [3] C. Nouveau, J. Jorand, C. Decès-Petit, C. Labidi, M.A. Djouadi, Influence of carbide substrates on tribological properties of chromium and chromium nitride coatings: application to wood machining, *Wear* 258 (1–4) (2005) 157–216.
- [4] C. Labidi, R. Collet, C. Nouveau, P. Beer, S. Nicosia, M.A. Djouadi, Surface treatments of tools used in industrial wood machining, *Surf. Coat. Technol.* 200 (1–4) (2005) 118–122.
- [5] Matsumoto S., Zhang W., *Diamond Relat. Mater.* 10, 2001, pp. 1868-1872.
- [6] Mirkarimi P.B., Mc Cathy F.F., Medlin D.L., *Mater. Sci. Eng. R21*, 1997, pp. 47-51.
- [7] Inagawa K. *J. Vac. Sci. Technol, A* 5, 1987, pp. 2697-2702.
- [8] Kolitsch A., Wang X., Manova D., Fukarek W., möller W., Oswald S., *Diamond Relat Mater*, 8, 1999, pp. 110-18.
- [9] Aratake S., *Mokuzai Gakkaishi* 39(4), 1993, pp. 389-395.
- [10] Morita T., Banskoya K., Tsutsumoto T., *Forest Products Journal* 48(5), 1998, pp. 43-50.
- [11] Warren S., *Forest Products Journal* 39(5), 1989, pp. 37-38.
- [12] Labidi C., Amélioration de la durée de service d'outils d'usinage du bois par traitements de surface et préparation de l'arête de coupe, Thèse de doctorat, ENSAM de Cluny n°582007.2007.
- [13] Bobzin K., Lugscheider E., Nickel R., Bagcivan N., Kramer A., *Wear behaviour of  $\text{Cr}_{1-x}\text{Al}_x\text{N}$  PVD-coatings in dry running conditions*, *Wear*, 2007, in press.
- [14] Chala N., Dépôt de couches minces pour revêtements durs Application à la protection contre l'usure et la corrosion. These de doctorat université de Biskra, 2005.
- [15] Decès-Petit C., Etude des phases transitoires au cours du déroulage de bois, Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure d'Arts et Métiers, Cluny, 1996.
- [16] Aknouche H., Goli G., Sandak J., Negri M., Nouveau C., Evaluation de la qualité du défonçage du pin d'Alep par une nouvelle méthode laser. 1<sup>er</sup> Colloque Euro maghrébin sur les Bois Méditerranéen. Boumerdes Algérie. 2008.